

การลดของเสียในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษด้วยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง Defective Reduction in Carton Box Manufacturing Using Design of Experiment (DOE)

เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร¹ ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์^{1,*} ระพี กาญจนะ¹ และ ฤทธิชัย สังฆทิพย์²
¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

²สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

E-mail: kaona_j@rmutt.ac.th

Chalerm Sak Thavornwat¹, Kaona Jongwuttanaruk^{1,*}, Rapee Kanchana¹, and Rittichai Sangkatip²

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

² Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology,

833 Rama I Rd., Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand

E-mail: kaona_j@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยใช้หลักเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการในการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความเสียหายของกล่องกระดาษลูกฟูก และใช้การทดลองพินิจตอบสนอง เพื่อทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อของเสียประเภทกระดาษกรอบที่เป็นประเภทของเสียที่สูงที่สุด โดย กำหนดค่าทั้ง 3 ปัจจัยในการตั้งค่าของเครื่อง Corrugator คือ (1) ความเร็วเครื่องจักร ที่ช่วง 170 - 190 เมตรต่อนาที (2) ระยะห่างช่องว่างกาว ที่ช่วง 370 - 400 ไมครอน และ (3) กาวที่เครื่องจักร ที่ช่วง 380 - 390 ไมครอน ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นที่แผนกผลิตกระดาษลูกฟูก ได้แก่ ความเร็วและระยะห่างช่องว่างกาว โดยมีระดับที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่อง Corrugator ในการผลิตกระดาษลูกฟูก คือ ความเร็วเครื่องจักร ที่ 190 เมตรต่อนาที, ระยะห่างช่องว่างกาว ที่ 393 ไมครอน และ กาวที่เครื่องจักร ที่ 385 ไมครอน จะสามารถให้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ สูงสุดเท่ากับ 103.27 kg.f/cm² และสามารถลดปริมาณของเสียประเภทกระดาษกรอบ จากเดิมก่อนการปรับปรุงเฉลี่ยร้อยละ 5.86 และผลการปรับปรุง ด้วยการใช้นิเทศการทดลองพินิจตอบสนอง แบบ Box-Behnken พบว่าของเสียประเภทกระดาษกรอบทำให้ของเสียดังกล่าวลดเหลือร้อยละ 1.83 ดังนั้นทำให้ภาพรวมของปริมาณของเสียในช่วง

ก่อนปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.33 ซึ่งการลดของเสียประเภทกระดาษกรอบทำให้ของเสียในภาพรวม ลดลงเหลือร้อยละ 3.28 ซึ่งทำให้บริษัทกรณีศึกษาจึงสามารถควบคุมปริมาณของเสียที่ไม่ให้เกินเกณฑ์ร้อยละ 4.5 ตามที่กำหนดไว้

คำสำคัญ: กล่องกระดาษลูกฟูก; กระดาษกรอบ; การทดลอง; แบบแผนผิวตอบสนอง

Abstract

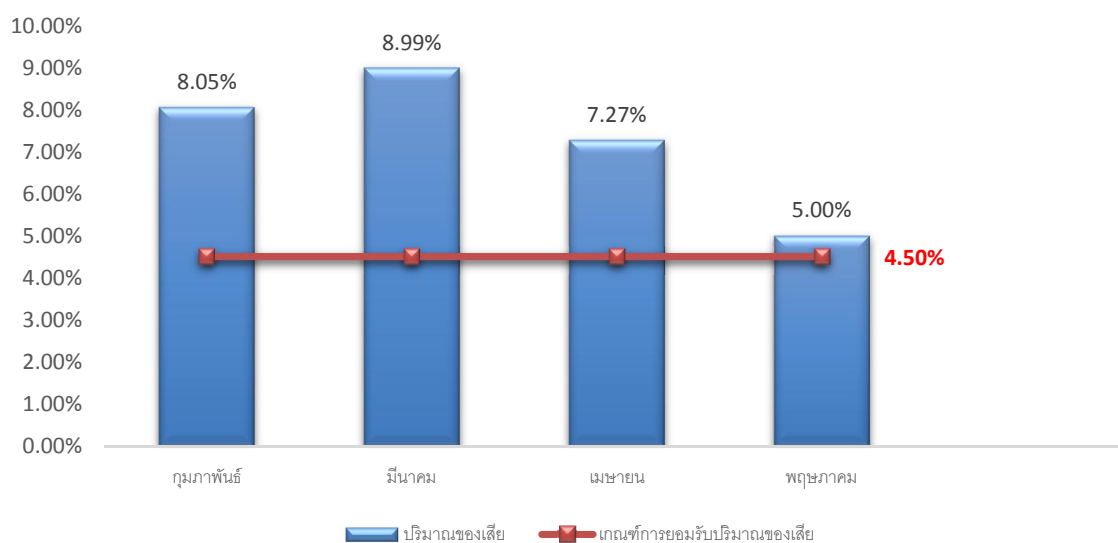
This research aimed to reduce the defective form carton box process using industry engineering technique for categorizing the potential causes of a problem to obtain defective in the carton box process. Response Surface Experiment was used to design the experiment by three factors consisting of 1) Speed machine at 170-190 m/min, 2) Glue gap at 370-400 micron, and 3) Glue Machine at 380-390 microns with significance at 0.05. The summarized results were suitable parameters for setting up the machine in producing carton box where the speed at 190 meters/ minute, the glue gap at 390 microns, and the glue Machine at 385 effects to highly compressive force at 103.27 kg. f/cm² and reduce defective brittle paper. The before improvement result shows a defective ratio average of 5.86%, and after improvement using Response Surface Experiment (Box-Behnken) result shows a defective ratio average of 1.83 %. So, the summarized results were as follows before improving the total monthly defective ratio average of 7.33%. The brittle paper was mostly defective to reduce after improvement. The total defective (Monthly) ratio was also reduced by 3.28%, and the manufacturer can do meet the target that the Total monthly defective ratio average of less than 4.5%.

Keywords: Carton box; Brittle paper; Response Surface Experiment

1. บทนำ

ในภาวะการแข่งขันทางการค้าและการตลาดยุคโลกาภิวัตน์ที่รุนแรงขึ้น องค์กรธุรกิจต้องมีการปรับตัวที่รวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความต้องการสินค้าที่หลากหลายและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ปัจจัยอันดับหนึ่งที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าและบริการ คือ “คุณภาพ” ของสินค้าและบริการนั่นเอง ในการบรรจุหีบห่อหรือการบรรจุภัณฑ์ เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่เป็นตัวช่วยถนอมสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาจนถึงมือลูกค้า โดยการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะต้องมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ และการออกแบบรูปลักษณะบรรจุภัณฑ์โดยวิธีต่าง ๆ เช่น การใช้กราฟฟิก ยังมีผลในด้านการขาย [1] จึงจะเห็นได้ว่ากล่องกระดาษลูกฟูกมีบทบาทและความสำคัญอย่างมาก กล่องกระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ในเกือบทุกอุตสาหกรรม [2] เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความ

ทนทาน สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย น้ำหนักเบา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถปรับเปลี่ยนให้ตรงความต้องการได้[3] งานวิจัยฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกของบริษัท ตรีศึกษาแห่งหนึ่ง โดยจากการศึกษาข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ปี 2562 โดยพบปริมาณของเสีย ในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกใบสั่งงาน B1092 จำนวนทั้งสิ้น 818,790 ชิ้น ตามรูปที่ 1 บริษัทตรีศึกษาได้ กำหนดเกณฑ์การยอมรับปริมาณของเสียที่ร้อยละ 4.5 และพบปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระดาษ ลูกฟูก จากข้อมูลบันทึกของชิ้นงานเสียในแต่ละเดือนของฝ่ายผลิต พบข้อมูลของเสียคิดเฉลี่ยต่อเดือนเป็นร้อยละ 7.33 ซึ่งสูงกว่าที่บริษัทตั้งเป้าหมายไว้



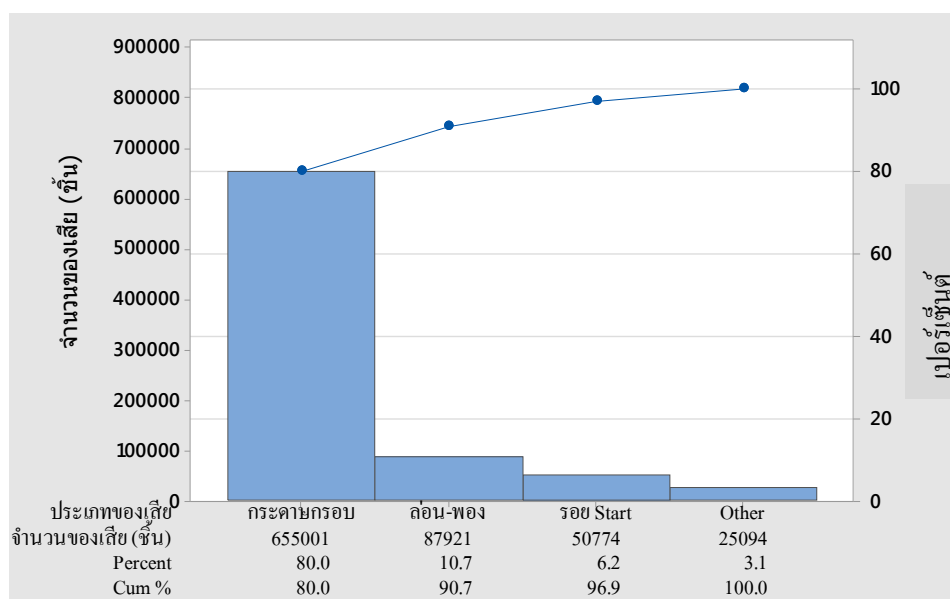
รูปที่ 1 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ปี 2562

เมื่อนำข้อมูลมาจำแนกตามประเภทงานเสียตามตารางที่ 1 พบว่ามีของเสียทั้งหมด 11 ประเภท ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกโดยผู้วิจัย ได้เก็บข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ปี 2562

ตารางที่ 1 ปริมาณของเสียจำแนกตามประเภทของเสียในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ปี 2562

ประเภทของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	ประเภทของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้น)
รอยด่าง	1,102	รอยต่อ	2,093
เปื้อนน้ำมัน	1,884	รอยเริ่ม	50,774
เหลื่อม	12,756	ลอน-พอง	87,921
SL ตัดเป็นขุย	1,302	กระดาศกรอบ	655,001
ลอนกระโดด	2,947	ยับในม้วน	1,411
รอย HP	1,599		

จากข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นกับใบสั่งงาน B1092 ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อแยกลงรายละเอียดไปในหัวข้อประเภทของเสียในแต่ละประเภทของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการตรวจสอบจากข้อมูลทางสถิติพบว่าลักษณะของเสียมีทั้งหมด 11 ประเภท ได้แก่ รอยด่าง เปื้อนน้ำมัน เหลื่อม SL ตัดเป็นขุย ลอนกระโดด รอย HP รอยต่อ รอยเริ่ม ลอน-พอง กระดาศกรอบ ยับในม้วน ดังแสดงในรูปที่ 2 และนำมาจัดเรียงลำดับของลักษณะแต่ละประเภทของปัญหาที่พบเป็นแผนภูมิพาร์โต พบว่าของเสียประเภทกระดาศกรอบมีจำนวนสูงมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการเลือกทำการลดจำนวนของเสียประเภทดังกล่าว



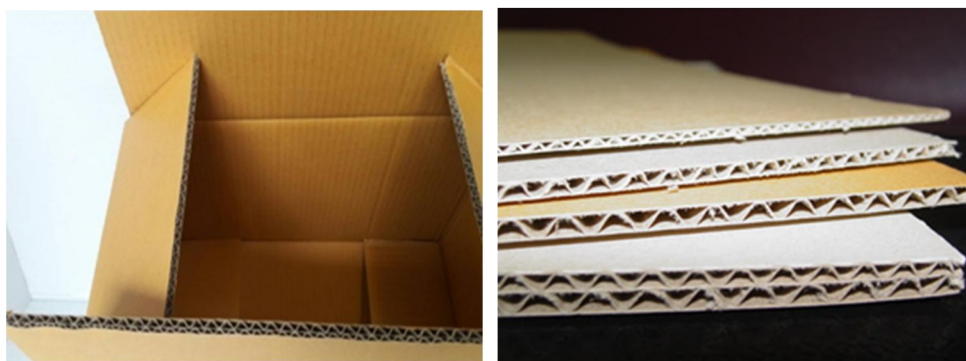
รูปที่ 2 กราฟพาร์โตแสดงปริมาณของเสียเดือนกุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2562

เมื่อคัดปัญหาที่จะทำการปรับปรุงแล้ว จะทำการใช้หลักเกณฑ์ของแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของเสียทำโดยเลือกปัญหาหลักสำหรับการค้นหาสาเหตุ และใช้แผนผังเหตุและผลที่เกิดขึ้นจริงของปัญหา[4-7] และเลือกนำเทคนิคการทดลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Experiment) ซึ่งเป็นการปรับกระบวนการให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างเทคนิคทางคณิตศาสตร์

และสถิติ วิธีการทดลองพื้นผิวตอบสนองได้รับการยกย่องให้เป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการโดยการรวม [8] โดยถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่นการนำวิธีการทดลองพื้นผิวตอบสนองมาทำการปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสีย [9] การออกแบบพื้นผิวการตอบสนองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงร่วมด้วยในการสกัด (Ultrasound-assisted Extraction, UAE) [10] ดังนั้นจึงนำวิธีการทดลองพื้นผิวตอบสนองมาเป็นแนวทางช่วยในการลดของเสียประเภทกระดาษกรอบที่เกิดขึ้น และนำผลที่ได้มาแก้ไขขั้นตอนกระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตจริง เพื่อลดของเสียลดต้นทุนการผลิตที่ใช้ในการผลิตให้มีคุณภาพในการผลิตชิ้นงานมากขึ้น

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

บริษัทกรณีศึกษาที่ทางผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมประเภทธุรกิจกระดาษซึ่งรูปแบบการผลิตเป็นแบบ ผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก พิมพ์ ขึ้นรูป โดยลูกค้าส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มธุรกิจเครื่องอุปโภค เช่น กล่องบรรจุเครื่องดื่มผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่กล่องกระดาษ ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

บริษัทกรณีศึกษาผลิตกล่องกระดาษที่ใช้เป็นกรณีศึกษามีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก คือเครื่อง Corrugator Machine ที่เป็นภาพเครื่องจักรจากบริษัทกรณีศึกษาดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่อง Corrugator Machine

2.1 รายละเอียดประเภทของเสีย

การผลิตกระดาษลูกฟูกโดยเครื่อง Corrugator Machine ปัญหาจากการผลิตมีให้เห็นอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละปัญหาก็จะมีแนวทางแก้ไขที่แตกต่างกันผู้ทำงานในแผนกกระดาษลูกฟูกต้องเข้าใจถึงต้นเหตุของปัญหาเสียก่อน จึงสามารถแก้ไขต่อไปได้ โดยในการศึกษาของเสียประเภทนี้มีลักษณะดังรูปที่ 5

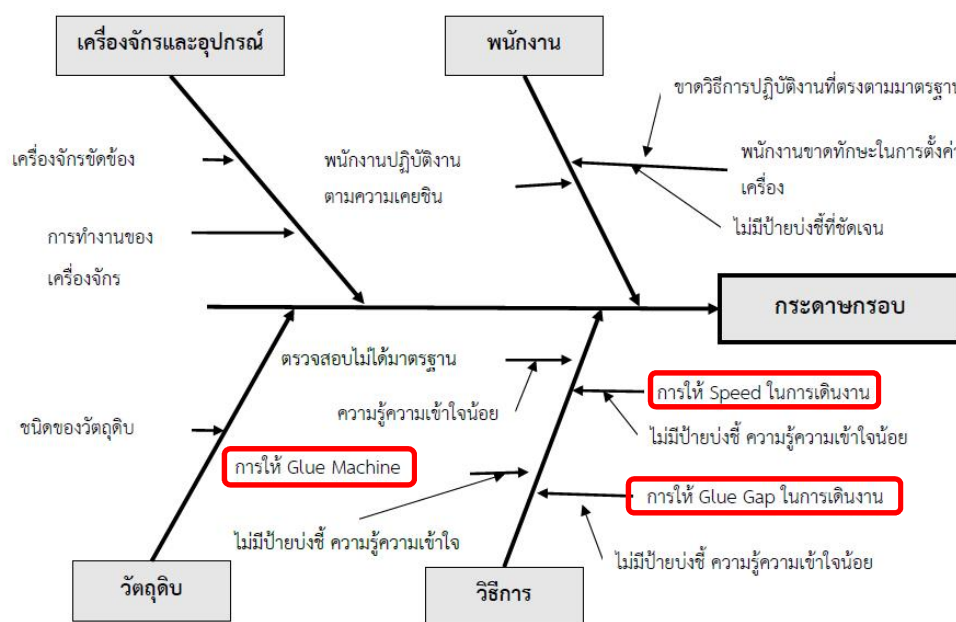


รูปที่ 5 ลักษณะของเสียประเภทกระดาษกรอบ

การตรวจสอบคุณภาพของกระดาษ ปัญหากระดาษกรอบ มีลักษณะภายนอกดูเป็นปกติ อาจจะมียอเล็กน้อยเมื่อทำการหยิบมาตรวจสอบโดยการหักงอหรือบีบจะทำให้ทราบว่ากระดาษกรอบเกินมาตรฐาน โดยการทดสอบกระดาษกรอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ ซึ่งบริษัทกรณีศึกษา มีค่ายอมรับกระดาษกรอบค่าความต้านทานแรงดันทะลุ โดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบเทียบมาตรฐานที่อ้างอิงต้องไม่ต่ำกว่า 700 kg.f/cm^2

2.2 วิเคราะห์หาสาเหตุในการเกิดของเสียในการผลิตชิ้นงาน

หลังจากที่ได้หัวข้อปัญหาของเสียที่ได้จากการวิเคราะห์แล้ว ในลำดับขั้นตอนต่อไปจึงนำหัวข้อที่เลือก มาแจกแจงหาปัญหาและสาเหตุโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagram) และได้ร่วมกันระดมความคิดในการหาสาเหตุหลัก แก๊งปลาย่อย ซึ่งแสดงสาเหตุต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหาชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ หลังจากวิเคราะห์โดยใช้หลักทรัพยากร (Resources) ซึ่งประกอบด้วย 4M คือ



รูปที่ 6 แผนภาพก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) ตามรูปที่ 6 จึงมีข้อสรุปจากการระดมสมองพบว่าสาเหตุที่มีผลกระทบกับปัญหา ซึ่งสามารถในการดำเนินการหรือใช้เวลาสั้น ๆ ในการแก้ไข และทำให้ปัญหาลดลงได้คือ 1) ความเร็วเครื่องจักร, 2) ระยะห่างช่องว่างกาว และ 3) กาวที่เครื่องจักร

2.3 วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM)

เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น ทำให้ง่ายในการจัดการและการอธิบายผลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาศลูกฟูก ด้วยการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมพื้นที่ผิวตอบสนอง วิธี Box Behnken design เพราะเป็นวิธีที่ใช้ผลจากการทดลองน้อยที่สุด และจากการศึกษามี 3 ตัวแปรที่มีผลกระทบกับปัญหาคือกระดาศกรอบ มาเป็นปัจจัยที่ศึกษา มีดังนี้ 1) ความเร็วเครื่องจักร ในการเดินงาน, 2) ระยะห่างช่องว่างกาว และ 3) กาวที่เครื่องจักร โดยมีการกำหนดช่วงในการทดลองแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ช่วงของการทดสอบทั้ง 3 ปัจจัย

ปัจจัย(Factor)	ช่วงการทดสอบ	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	170 – 190	M/Min
ระยะห่างช่องว่างกาว	370 – 400	Micron
กาวที่เครื่องจักร	380 – 390	Micron

จากตารางที่ 2 เป็นการจำแนกปัจจัยและระดับที่มีผลต่อการทดลองโดยในการกำหนดปัจจัยและช่วงของการทดสอบ เพื่อที่จะออกแบบการทดลอง โดยทั้งสามปัจจัยมีการตั้งค่าโดยช่วงที่มีประสิทธิภาพ โดยมีหลักการในการปรับทั้ง 3 ส่วนดังนี้

- 1) ความเร็วเครื่องจักร ที่เร็วหรือช้ามากเกินไปจะทำให้กระดาษผ่านเครื่องให้ความร้อนกระดาษเร็วหรือนานเกินไปส่งผลให้เกิดกระดาษกรอบหรือกาวไม่แห้ง
- 2) ระยะห่างช่องว่างกาว การตั้งค่าที่ชิดหรือห่างมากเกินไปจะทำให้กระดาษนิ่มหรือแข็งเกินไปเช่นกัน
- 3) กาวที่เครื่องจักร การตั้งค่าที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้กระดาษนิ่มหรือแข็งเกินไปเช่นกัน

3. ผลการวิจัย

จากการวางแผนการทดลอง การกำหนดปัจจัยและระดับในการศึกษาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Experiment) แบบ Box-Behnken [10-15] ซึ่งจะมีค่าสูง กลาง ต่ำ ซึ่งประกอบด้วย 3 ปัจจัย การกำหนดปัจจัยและระดับเพื่อที่จะออกแบบการทดลองนั้น ผู้วิจัยได้อ้างอิงจากการรวบรวมการตั้งค่าการผลิตของบริษัทกระดาษที่ใช้ในการผลิต โดยค่าที่นำมาใช้เป็นค่าที่บริษัทกระดาษใช้ในการผลิต ผลจากการออกแบบการทดลอง ซึ่งมาจากการคำนวณของโปรแกรม MINITAB แต่จำนวนที่เหมาะสมและเพียงพอของงานวิจัยนี้คือ ทำการทดลองซ้ำ (Replicates) จำนวน 2 ครั้งจึงแสดงผลการทดลองเท่ากับ 30 การทดลอง ซึ่งผลการทดลองแบบ Box-Behnken ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองแบบ Box-Behnken

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Speed	Glue Gap	Glue Machine	Bursting Strength
1	1	2	1	170	370	385	64
2	2	2	1	190	370	385	84
3	3	2	1	170	400	385	93
4	4	2	1	190	400	385	112
5	5	2	1	170	385	380	89
6	6	2	1	190	385	380	93
7	7	2	1	170	385	390	83
8	8	2	1	190	385	390	92
9	9	2	1	180	370	380	98
10	10	2	1	180	400	380	91
11	11	2	1	180	370	390	63
12	12	2	1	180	400	390	83
13	13	0	1	180	385	385	92
14	14	0	1	180	385	385	91
15	15	0	1	180	385	385	90
16	16	2	1	170	370	385	67
17	17	2	1	190	370	385	83
18	18	2	1	170	400	385	86
19	19	2	1	190	400	385	99
20	20	2	1	170	385	380	83
21	21	2	1	190	385	380	99
22	22	2	1	170	385	390	90
23	23	2	1	190	385	390	98
24	24	2	1	180	370	380	67
25	25	2	1	180	400	380	81
26	26	2	1	180	370	390	61
27	27	2	1	180	400	390	92
28	28	0	1	180	385	385	92
29	29	0	1	180	385	385	91
30	30	0	1	180	385	385	92

ตารางที่ 4 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

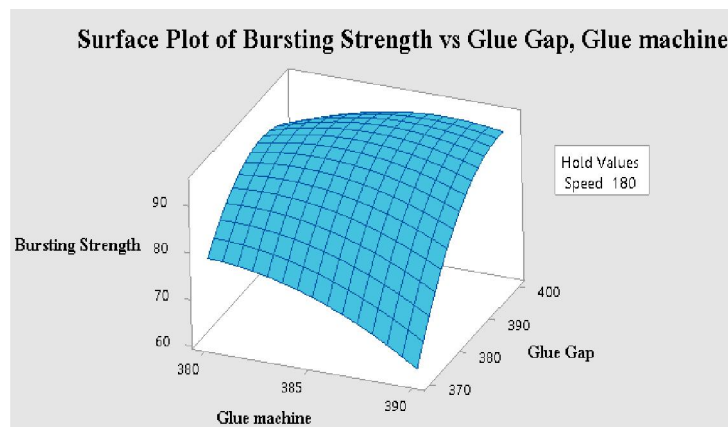
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3122.26	346.92	7.03	0.000
Linear	3	2190.38	730.13	14.80	0.000
Speed	1	689.06	689.06	13.97	0.001
Glue Gap	1	1406.25	1406.25	28.50	0.000
Glue Machine	1	95.06	95.06	1.93	0.180
Square	3	686.76	228.92	4.64	0.013
Speed*Speed	1	67.39	67.39	1.37	0.256
Glue Gap*Glue Gap	1	515.39	515.39	10.45	0.004
Glue Machine * Glue Machine	1	89.39	89.39	1.81	0.193
2-Way Interaction	3	245.13	81.71	1.66	0.208
Speed*Glue Gap	1	2.00	2.00	0.04	0.842
Speed* Glue Machine	1	1.12	1.12	0.02	0.881
Glue Gap*Glue Machine	1	242.00	242.00	4.91	0.039
Error	20	986.71	49.34		
Lack-of-Fit	3	217.87	72.62	1.61	0.225
Pure Error	17	768.83	45.23		
Total	29	4108.97			

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัย ความเร็ว เครื่องจักร และระยะห่างช่องว่างกาว มีอิทธิพลต่อค่ากระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แสดงว่าจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองค่าของเสียกระดาษกรอบไม่มีอิทธิพลต่อค่ากระบวนการผลิตกระดาษลูกฟูก และสมการความสัมพันธ์อาจจะมีบางช่วงของปัจจัยที่มีความผิดพลาดสูง การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R-Sq(adj) ซึ่งบอกได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 ที่นำมาทำการทดลองมีอิทธิพลต่อการทดลองร้อยละ 38.62 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 85.18 เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

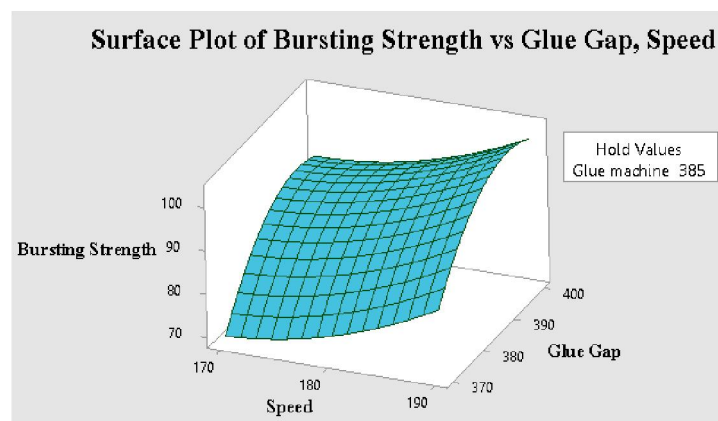
ส่วนค่าของ Lack-of-Fit มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความแม่นยำโดยสมการความสัมพันธ์ของระหว่างปัจจัยและผลตอบสนองมีดังนี้

ความต้านทานแรงดันทะลุ = $-15113 - 6.0 \text{ ความเร็วเครื่องจักร} + 1.6 \text{ ระยะห่างช่องว่างกาว} + 79.8 \text{ กาวที่เครื่องจักร} + 0.0302 \text{ ความเร็วเครื่องจักร} * \text{ความเร็วเครื่องจักร} - 0.0371 \text{ ระยะห่างช่องว่างกาว} * \text{ระยะห่างช่องว่างกาว} - 0.139 \text{ กาวที่เครื่องจักร} * \text{กาวที่เครื่องจักร} - 0.0033 \text{ ความเร็วเครื่องจักร} * \text{ระยะห่างช่องว่างกาว} - 0.0075 \text{ ความเร็วเครื่องจักร} * \text{กาวที่เครื่องจักร} + 0.0733 \text{ ระยะห่างช่องว่างกาว} * \text{กาวที่เครื่องจักร}$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสมการความสัมพันธ์ของระหว่างปัจจัยและผลตอบสนองสามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนองเพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความต้านทานแรงดันทะลุ ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 พื้นผิวตอบสนองแสดงผลความต้านทานแรงดันทะลุระหว่าง ระยะห่างช่องว่างกาว * กาวที่เครื่องจักร



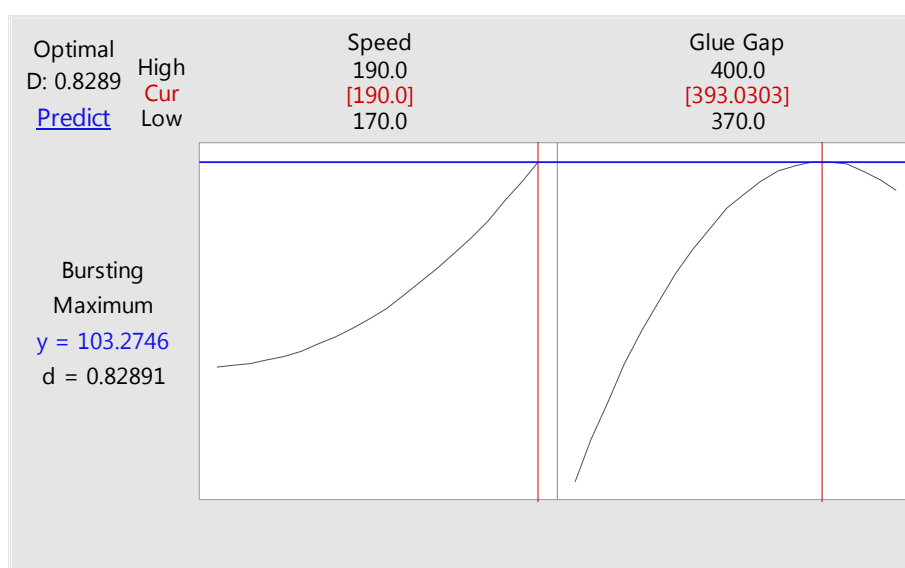
รูปที่ 8 พื้นผิวตอบสนองแสดงผลความต้านทานแรงดันทะลุระหว่าง ระยะห่างช่องว่างกาว * ความเร็วเครื่องจักร

จากรูปที่ 7 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของ ระยะห่างช่องว่างกาว * กาวที่เครื่องจักร ของกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก โดยกำหนดให้ระดับของของ ความเร็วเครื่องจักร อยู่ที่ระดับกลาง พบว่าการใช้ปรับตั้งให้ ระยะห่างช่องว่างกาว ให้กว้างขึ้น ทำให้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ สูงขึ้น

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะห่างช่องว่างกาว มีอิทธิพลอย่างมากต่อค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ โดยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ต่างกับ กาวที่เครื่องจักร ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุที่ต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กาวที่เครื่องจักร ไม่มีอิทธิพลต่อค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ โดยมีค่า p-value มากกว่า 0.05 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ระดับของตัวแปร ทั้งสองที่ค่าสูง-ต่ำ ต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงไม่มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ต่อกัน

จากรูปที่ 8 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของ ระยะห่างช่องว่างกาว * ความเร็วเครื่องจักร ของ กระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก โดยกำหนดให้ระดับของของ กาวที่เครื่องจักร อยู่ที่ ระดับกลาง พบว่าการใช้ปรับตั้งให้ ระยะห่างช่องว่างกาว ให้กว้างขึ้น ทำให้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ สูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะห่างช่องว่างกาว มีอิทธิพลอย่างมากต่อค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ โดยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 เช่นเดียวกับ ความเร็วเครื่องจักร พบว่าการใช้ปรับตั้งให้เร็วขึ้น ซึ่งมีค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ ที่สูงขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาที่ระดับของตัวแปรทั้งสองที่ค่าสูงๆจะทำให้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ สูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรคือ ระยะห่างช่องว่างกาว และความเร็ว เครื่องจักร

การวิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer และยืนยันผลการทดลองการทำนาย สถานะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกนี้เพื่อให้ได้ทำให้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ ได้มากที่สุด(ค่าการตอบสนองสูงสุด) ด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer ในซอฟต์แวร์ Minitab โดยวัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง (Composite Desirability; D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของ ผลตอบสนองมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบสนองนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ จากรูปที่ 9 พบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกคืออัตราส่วน ระหว่าง ความเร็วเครื่องจักรที่ 190 m/min, ระยะห่างช่องว่างกาวที่ 393 Micron และ กาวที่เครื่องจักรที่ 385 Micron จะสามารถให้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ สูงสุดเท่ากับ 103.27 kg.f/cm²



รูปที่ 9 วิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer

เมื่อนำสภาวะที่ได้จากการประมวลผลของ ซอฟต์แวร์มาทำการทดลอง เพื่อทดสอบ โดยทำการประมาณค่าสภาวะเพื่อให้ง่ายต่อการทดลอง จะได้อัตราส่วนระหว่าง ความเร็วเครื่องจักร ที่ 190 m/min, ระยะห่างช่องว่างกาวที่ 393 Micron และ กาวที่เครื่องจักรที่ 385 Micron หลังจากการทดลองเพื่อตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีทดลองพื้นผิวตอบสนอง ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลางเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการนำมาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก

4. บทสรุป

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง 3 ปัจจัย ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าตัวแปรของกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก อัตราส่วนระหว่าง ความเร็วเครื่องจักร , ระยะห่างช่องว่างกาว และ กาวที่เครื่องจักร ที่พิจารณาและแบบจำลองถดถอยกำลังสองทำนายร้อยละผลได้ของค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ ได้อย่างมีนัยสำคัญ (< 0.05) ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่าง ความเร็วเครื่องจักร , ระยะห่างช่องว่างกาว เพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่าง ความเร็วเครื่องจักรที่ 190 m/min, ระยะห่างช่องว่างกาวที่ 393 Micron และ กาวที่เครื่องจักรที่ 385 Micron ได้ค่า ความต้านทานแรงดันทะลุ จากการทดลองเท่ากับ 103.27 kg.f/cm^2 มีค่าใกล้เคียงกับค่าทำนายที่ได้จากการประมวลผล การทดลองสามารถยืนยันได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวิธีทดลองพื้นผิวตอบสนองใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก

จากผลการปรับปรุงมิถุนายน ปี 2562 ด้วยการใช้เทคนิคการทดลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Experiment) แบบ Box-Behnken พบว่าของเสียประเภทกระดาษกรอบทำให้ของเสียดังกล่าวลดเหลือร้อยละ 1.83 โดยข้อมูลก่อนการปรับปรุงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ปี 2562 เหลือร้อยละ 5.86 ดังรูปที่ 10

ดังนั้นทำให้ภาพรวมของปริมาณของเสียในช่วงก่อนปรับปรุงเดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ปี 2562 เหลืออยู่ที่ร้อยละ 7.33 จากรูปที่ 1 การลดของเสียประเภทกระดาษกรอบทำให้ของเสียในภาพรวมในเดือนมิถุนายน ปี 2562 ลดลงเหลือร้อยละ 3.28 ซึ่งทำให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถควบคุมปริมาณของเสียที่ไม่ให้เกินเกณฑ์ร้อยละ 4.5 ตามที่กำหนดไว้

- [4] V.A. Deshpande, "Cause-and-Effect Diagram for a Teaching Learning Process (CEDTLP) – A Case Study," *Industrial Engineering Journal*, Vol. 1, Issue 2, 2008, pp. 41-42.
- [5] M. Coccia, "The Fishbone Diagram to Identify, Systematize and Analyze the Sources of General Purpose Technologies," *Journal of Social and Administrative Sciences*, Vol. 4, Issue 4, 2017, pp. 291-303.
- [6] L.M. Cirtina, "Improving the quality of processes by drawing cause-effect diagram using software instruments," *12h International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM) (Albena)*, Vol. 4, 2012, pp. 1017-1021.
- [7] L. Luca, "The Study of Applying a Quality Management Tool for Solving Non-Conformities in an Automotive," *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 809-810, 2015, pp. 1257-1262.
- [8] L.G. Oliveira, A.P. Paiva, P.P. Balestrassi, J.R. Ferreira, S.C. Costa and P.H.S. Campos, "Response surface methodology for advanced manufacturing technology optimization: theoretical fundamentals, practical guidelines, and survey literature review," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 104, Issue 5-8, 2018, pp. 1785 – 1837.
- [9] A. Ahmad, M.U. Rehman, A.F. Wali, H.A. El-Serehy, F.A. Al-Misned, S.N. Maodaa, H.M. Aljawdah, T.M. Mir and P. Ahmad, "Box–Behnken Response Surface Design of Polysaccharide Extraction from *Rhododendron arboreum* and the Evaluation of Its Antioxidant Potential," Vol. 25, Issue 17, 2020, pp.1-12.
- [10] H. Gao and W.Y. Gu, "Optimization of polysaccharide and ergosterol production from *agaricus brasiliensis* by fermentation process," *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 33, No. 3, 2007, pp. 202-210.
- [11] E.R. Ziegel, A.I. Khuri and J.A. Cornell, "Response surfaces: Designs and analyses," *Technometrics*, Vol. 39, Issue 31997, pp. 342-350.
- [12] D. Awapak, N. Maha and D. Pichairat, "Optimization of polysaccharide extraction from *Gracilaria fisheri* using response surfacemethodology," *KKU Science Journal*, Vol. 41, No. 2, 2013, pp. 414-430.
- [13] M. Stroescu, A.S. Guzun, S. Ghergu, N. Chira, and I. Jipa, "Optimization of fatty acids extraction from *Portulaca oleracea* seed using response surface methodology," *Industrial Crops and Products*, Vol. 43, No. 1, 2013, pp. 405-411.
- [14] S. Zhao and D. Zhang, "A parametric study of supercritical carbon dioxide extraction of oil from *Moringa oleifera* seeds using a response surface methodology," *Separation and Purification Technology*, Vol. 113, 2013, pp. 9-17.
- [15] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 8th edition, Wiley, 2013.